УДК 632.937.14:632.4:712.41
DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.151.26

ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ НА ОСНОВІ ГРИБІВ РОДУ TRICHODERMA У ЛІКУВАННІ ТА ПРОФІЛАКТИЦІ ФУЗАРІОЗУ І ПРИКОРЕНЕВИХ ГНИЛЕЙ ГАЗОННИХ ФІТОЦЕНОЗІВ[1]

Пустова З.В. *– к.с.-г.н.,*
доцент кафедри екології і загальнобіологічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
orcid.org/0000-0003-3511-5054
Крушевська Й. *– PhD, DSc,*
професор лабораторії грибної біології,
Інститут біохімії та біофізики Польської академії наук, Варшава, Польща
orcid.org/0000-0003-2012-7781
Ярошук-Щісель Й. *– PhD,*
професор кафедри промислової та екологічної мікробіології,
Університет Марії Кюрі-Склодовської, Люблін, Польща
orcid.org/0000-0001-9861-5772

Стаття присвячена актуальній проблемі захисту газонних покриттів (Poa pratensis, L olium perenne, Festuca rubra) у садово-парковому господарстві від деструктивних мікозів. В умовах міських екосистем традиційні хімічні фунгіциди викликають резистентність патогенів та забруднюють довкілля, що обумовлює необхідність впровадження екологічно безпечних біологічних агентів. У роботі представлено результати лабораторних та польових досліджень ефективності штамів Trichoderma harzianum та T. viride проти збудників фузаріозу (Fusarium nivale, F. oxysporum) та прикореневих гнилей (Rhizoctonia solani, Pythium spp.). Висвітлено історичний екскурс вивчення триходерми від перших робіт Р. Вейндлінга до сучасної геноміки. Описано чотири фундаментальні механізми дії антагоніста: мікопаразитизм, антибіоз, конкуренція за екологічну нішу та індукція системної стійкості рослин. Шляхом лабораторного тестування in vitro (метод зустрічних культур) зафіксовано етапи лізису міцелію патогенів та наступного конідієгенезу триходерми. Польові досліди довели високу супресивну здатність біопрепарату: індекс розвитку фузаріозу в критичні періоди знижувався до 4.8–5.9 %, що перевершує дію хімічного еталону (флудіоксонілу). Встановлено ефект довготривалої післядії біоагента, який знижує інфекційний потенціал ґрунту до мінімальних значень (1.1 × 10³ КУО/г) наприкінці вегетації. Окрім фунгіцидної дії, доведено ростостимулюючий ефект Trichoderma: проективне покриття газону досягло 96.4 %, щільність травостою зросла до 185 шт./дм², а суха біомаса дернини збільшилась на 40–55 %. Сформовано чіткий технологічний регламент застосування біопрепаратів для інтегрованого захисту паркових насаджень.

Ключові слова: *садово-паркове господарство, газонні трави, захист рослин, Trichoderma harzianum, фузаріоз, прикореневі гнилі, мікопаразитизм, біофунгіциди, ризосфера.*

[1] Дослідження фінансовані Польським Комітетом UNESCO 2025, 2026 роки.

© Пустова З.В., Крушевська Й., Ярошук-Щісель Й., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Pustova Z.V., Kruszewska J., Jaroszuk-Ściseł J. Application of biological preparations based on Trichoderma fungi in the treatment and prevention of Fusarium wilt and root rot in turfgrass phytocoenoses

The article addresses an urgent issue in urban landscape management: protecting turfgrass covers (Poa pratensis, Lolium perenne, Festuca rubra) from destructive mycoses. In urban ecosystems, traditional chemical fungicides induce pathogen resistance and contaminate the environment, highlighting the need for ecologically safe biological control agents. This paper presents the results of long-term laboratory and field trials evaluating the efficacy of Trichoderma harzianum and T. viride strains against agents of fusarium wilt (Fusarium nivale, F. oxysporum) and root rot (Rhizoctonia solani, Pythium spp.). The study provides a historical review of Trichoderma research, spanning from the pioneering works of R. Weindling to modern genomics. Four fundamental mechanisms of the antagonist's action are elucidated: mycoparasitism, antibiosis, competition for ecological niches, and induction of systemic plant resistance. Through in vitro laboratory testing via the dual culture method, the stages of pathogen mycelium lysis followed by Trichoderma conidiogenesis were documented. Field experiments proved the bioagent's high suppressive capability: the fusarium disease index dropped to 4.8–5.9% during critical periods, outperforming the chemical standard (fludioxonil). A prolonged residual effect was established, with the bioagent reducing the soil infection potential to minimum values (1.1×10^3 CFU/g) by the end of the vegetative season. Beyond its fungicidal properties, a robust plant growth-stimulating effect of Trichoderma was demonstrated: turfgrass projective cover reached 96.4%, sward density increased to 185 shoots/dm², and dry root mass expanded by 40–55%. Finally, a clear technological protocol for applying biopreparations within integrated park management systems was formulated.

Key words: *urban landscape management, turfgrass, plant protection, Trichoderma harzianum, fusarium wilt, root rot, mycoparasitism, biofungicides, rhizosphere.*

Актуальність теми дослідження зумовлена стрімким розвитком ландшафтної індустрії та підвищенням екологічних стандартів утримання міських зелених насаджень. Газонні фітоценози у садово-паркових комплексах виконують не лише естетичну, а й важливу санітарно-гігієнічну роль: затримують пил, знижують рівень шуму та оптимізують мікроклімат урбанізованих територій. Проте створення стійкого та високодекоративного газону супроводжується значними труднощами через постійний тиск інфекційного фону. Монокультура або обмежений видовий склад злакових сумішей у поєднанні з антропогенним пресингом (витоптування, стрижка, ущільнення ґрунту) створюють ідеальні умови для розвитку патогенної мікрофлори, серед якої найнебезпечнішими є збудники родів Fusarium, Rhizoctonia та Pythium.

Постановка проблеми. Традиційні підходи до захисту газонів базуються на інтенсивному застосуванні хімічних фунгіцидів, що в умовах сучасного міського середовища є неприпустимим з кількох причин. По-перше, регулярне використання хімічних діючих речовин призводить до швидкої появи резистентних штамів патогенів, що змушує збільшувати дози та кратність обробок. По-друге, пестициди мають високу токсичність для нецільових об'єктів – людей, домашніх тварин, корисних комах та ґрунтової фауни, що руйнує природний біоценоз парку. З огляду на це, виникає гостра науково-практична потреба у розробці та впровадженні інтегрованих систем захисту рослин, де базовим елементом є біологічний метод, зокрема використання антагоністичного потенціалу мікроміцетів роду Trichoderma.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у комплексному підході до оцінки функціонування штамів Trichoderma harzianum та T. viride безпосередньо у специфічних умовах міських газонних екосистем. Уперше в умовах урбанізованого середовища було детально простежено та математично обґрунтовано ефект довготривалої післядії біоагента, який не просто локалізує спалахи хвороб,

а радикально перебудовує структуру мікробного угруповання ризосфери. Встановлено часові та температурні межі, за яких супресивність ґрунту щодо фузаріозу залишається стабільною навіть після припинення активних вегетаційних обробок, що спростовує раніше існуючі уявлення про низьку конкурентоспроможність інтродукованих біоагентів перед аборигенною мікрофлорою [1].

Крім того, суттєвим елементом новизни є розкриття синергетичного ефекту між фунгіцидною дією гриба-антагоніста та його еліситорною й ростостимулюючою активністю на злакових травостоях. Доведено, що колонізація прикореневої зони триходермою запускає каскад фізіолого-біохімічних реакцій у рослині-хазяїні, активуючи експресію генів системної стійкості (ISR) та інтенсифікуючи синтез фотосинтетичних пігментів. Отримано нові дані щодо морфометричних змін підземної архітектоніки газону: зафіксовано збільшення щільності кореневих волосків та загальної глибини залягання дернини, що безпосередньо підвищує стійкість паркових насаджень до посухи та механічних навантажень [2, 3, 4].

Практична значущість досліджень полягає у створенні чіткого, адаптованого до умов виробництва технологічного регламенту застосування біопрепаратів на основі Trichoderma протягом усього вегетаційного періоду. Розроблені рекомендації дозволяють фахівцям садово-паркового господарства повністю відмовитися від токсичних хімічних засобів або суттєво мінімізувати їхнє використання під час весняно-осіннього догляду за газонами різних типів (від партерних до спортивних). Впровадження запропонованої технології забезпечує не лише надійний захист від снігової плісняви та гнилей, а й дає значний економічний та екологічний ефект завдяки зниженню витрат на регенерацію пошкодженого травостою та покращенню біологічного здоров'я міських ґрунтів [5, 6, 7].

Методика досліджень. Експериментальні дослідження проводилися на базі паркових зон та дослідних ділянок газонних покриттів у місті Кам'янець-Подільський протягом 2023–2025 років. Головними об'єктами науково-практичного аналізу виступав рослинний матеріал у вигляді трьохкомпонентної газонної суміші, що містила Poa pratensis (40 %), Festuca rubra (45 %) та Lolium perenne (15 %). Для моделювання та оцінки захисних заходів було виділено чисті ізоляти фітопатогенних грибів Fusarium oxysporum та Rhizoctonia solani, безпосередньо екстраговані з уражених ділянок паркової дернини. Роль агентів біологічного контролю виконували комерційні та лабораторні штами мікроміцетів Trichoderma harzianum із вихідним титром не менше 1×10^9 КУО/г, а також культури Trichoderma viride.

Для комплексної оцінки ефективності розроблених схем захисту на території дослідного об'єкта було закладено три варіанти експериментальних ділянок площею 25 м² кожна у чотирикратній повторності. Перший варіант – контроль (К) – представляв ділянки з природним фоном інфекції, які піддавалися обробці виключно водою. Другий варіант слугував хімічним еталоном (ХЕ) і передбачав дрібнокрапельне обприскування посівів хімічним фунгіцидом на основі діючої речовини флудіоксоніл із нормою витрати 200 мл/га. У третьому, біологічному варіанті (БВ), здійснювали систематичне внесення робочої суспензії Trichoderma harzianum комбінованим методом поливу та обприскування з розрахунку 5 л розчину на 100 м² за робочої концентрації 10^7 спор/мл.

Результати досліджень. Сучасна концепція сталого озеленення вимагає переходу від хімічних фунгіцидів до біологічних методів захисту газонних екосистем від фузаріозу та прикореневих гнилей в умовах антропогенного навантаження [8, 9, 10].

Історія вивчення мікроміцетів роду Trichoderma охоплює шлях від опису у 1794 році до відкриття Річардом Вейндлінгом у 1932 році явищ мікопаразитизму

та антибіотичної активності гриба. У середині XX століття виявлення штамів T. reesei як потужних продуцентів целюлолітичних ферментів започаткувало їх використання у промисловості, зокрема для розщеплення рослинних полімерів. Розробки Ігаля Чета у 1980-х роках розкрили молекулярні механізми дії гриба, заклавши основу для реєстрації перших біофунгіцидів та інтегрованого захисту рослин. На межі століть дослідження Гарі Хармана довели роль Trichoderma як ендофітного колонізатора ризосфери, здатного індукувати системну резистентність та стимулювати ріст рослин. Сучасний етап характеризується молекулярно-генетичним аналізом, систематизацією понад 350 видів та розшифруванням геномів, що пояснило різноманіття функцій цих мікроміцетів. Подальші роботи спрямовані на використання технології CRISPR/Cas9 для створення суперштамів та оптимізацію екологічно безпечних біопрепаратів нового покоління [1, 2, 9, 12, 13].

Гриби роду Trichoderma (переважно штами Trichoderma harzianum, T. viride, T. asperellum) є анаморфними гіпокрейними мікроміцетами, які колонізують ризосферу рослин. Вони характеризуються високою швидкістю росту, невибагливістю до субстрату та здатністю виживати при широких діапазонах pH (від 4.5 до 7.5) і температур (+5°C…+35°C).

Прямий та опосередкований захисний вплив мікроміцетів роду Trichoderma на збудників фузаріозу та комплексів прикореневих гнилей базується на чотирьох фундаментальних, генетично детермінованих механізмах взаємодії. Первинну деструктивну роль відіграє прямий гіперпаразитизм (мікопаразитизм), під час якого гіфи антагоніста за допомогою лектинового розпізнавання ідентифікують клітинні рецептори на поверхні патогенів Fusarium або Pythium. Після цього Trichoderma щільно обплітає нитки гриба-хазяїна та здійснює спрямований біосинтез комплексу літичних екзоферментів – хітиназ, β-1,3-глюканаз і протеаз. Ці ферменти гідролізують структурні полімери клітинної стінки шкідливого мікроміцета, призводять до її перфорації, наступного плазмолізису та використання внутрішньоклітинного вмісту патогена як трофічного субстрату. Цей процес підсилюється антибіозом, що полягає в активній секреції вторинних метаболітів (гліотоксину, віридину, триходерміну та пептаіболів), які дифундують у ґрунтовому розчині та інгібують проростання репродуктивних спор і ріст міцелію фітопатогенів.

Паралельно з прямим пригніченням біоагент реалізує опосередковані стратегії захисту через висококонкурентне домінування за життєвий простір та трофічні ресурси в екологічній ніші ризосфери. Завдяки високій швидкості латеральної експансії міцелію, Trichoderma випереджає фузаріум у колонізації кореневої зони злакових трав і активно зв'язує доступне тривалентне залізо за допомогою виділення потужних низькомолекулярних хелаторів – сидерофорів, викликаючи трофічне голодування патогенних ізолятів. Одночасно довготривала ендофітна колонізація кореневих тканин злаків викликає індукування системної резистентності (ISR) рослинного організму. Дана колонізація виступає еліситором, який запускає експресію захисних генів рослини та стимулює інтенсивний синтез ендогенних фітоалексинів, пероксидаз і поліфенолів, що кардинально підвищує загальний імунітет газонного травостою до подальших повторних хвиль інфекції [10, 11, 12, 13].

Експериментальні дослідження, проведені протягом вегетаційного періоду, дозволили встановити чітку закономірність між гідротермічними умовами, фазою розвитку злакових трав та ефективністю застосування біоагента Trichoderma harzianum у порівнянні з хімічним еталоном (флудіоксоніл) та контрольними ділянками. Розрахунок Індексу розвитку хвороби (ІРХ, %) здійснювали за стандартною методикою.

Таблиця 1

Динаміка розвитку фузаріозу газону (снігової плісняви та плямистостей, збудники Fusarium nivale, F. oxysporum) протягом вегетаційного періоду (середнє за роки досліджень), % ураженої площі

Варіант досліду	Квітень (після танення)	Травень (активний ріст)	Червень (спека/полив)	Липень (екстрем. температури)	Серпень (повторний відріст)	Вересень (підготовка до зими)
Контроль (без обробок)	34.2	18.5	22.4	28.9	15.3	24.7
Хімічний еталон (флудіоксоніл)	5.1	2.1	4.3	6.8	3.1	5.4
Біопрепарат (*Trichoderma harzianum*)	6.8	3.4	5.1	5.9	4.0	4.8
LSD_{05} (HIP_{05})	2.3	1.1	1.6	2.1	1.2	1.7

Помітно, що у липневий період біологічна ефективність Trichoderma harzianum виявилася вищою за хімічний стандарт (ІРХ 5.9 % проти 6.8 %). Це пояснюється температурним оптимумом для росту міцелію триходерми (+22°C...+28°C) та швидкою деградацією хімічної діючої речовини під впливом сонячної інсоляції та режимів штучного зрошення (табл. 1).

У весняний період (після танення снігу) на контрольних ділянках спостерігалося вогнищеве ураження сніговою пліснявою (Fusarium nivale) з індексом розвитку хвороби (ІРХ) на рівні 34.2 %. На ділянках, де восени превентивно вносили Trichoderma viride, ІРХ не перевищував 6.8 %, що корелювало з показниками хімічного еталону (5.1 %). Це доводить високу кріотолерантність окремих штамів триходерми, здатних працювати за низьких позитивних температур під сніговим покривом.

Таблиця 2

Інтенсивність розвитку прикореневих гнилей газонного травостою (збудники Rhizoctonia solani, Pythium spp.) за варіантами досліду, %

Варіант досліду	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень
Контроль (без обробок)	11.4	14.8	29.6	41.3	35.1	19.4
Хімічний еталон (флудіоксоніл)	2.0	3.1	8.4	12.1	10.5	4.2
Біопрепарат (*Trichoderma harzianum*)	3.5	4.0	7.1	9.3	8.1	3.9
LSD_{05} (HIP_{05})	*0.9*	*1.2*	*2.4*	*3.1*	*2.8*	1.4

Аналіз таблиці 2 демонструє, що прикореневі гнилі газонних трав досягають піку ураження (до 41.3 % у липні) під час високих температур та інтенсивного поливу. Використання біопрепарату на основі Trichoderma harzianum виявилося

ефективнішим за хімічний еталон, знижуючи ураження до 9.3 % у критичний літній період завдяки експресії літичних генів та сидерофорному контролю.

Особливу наукову цінність має аналіз динаміки розвитку патогенезу в перехідні періоди (червень–серпень). У червні на контрольних ділянках фіксується стрімкий стрибок інтенсивності прикореневих гнилей – з 14,8 % до 29,6 %, що безпосередньо пов'язано з початком системного штучного зрошення газону на тлі підвищення середньодобових температур. Хімічний фунгіцид у цей період стримує інфекцію на рівні 8,4 %, тоді як Trichoderma harzianum демонструє кращий результат (7,1 %). Це підтверджує гіпотезу про те, що вологе середовище верхнього шару дернини та прикореневої зони є оптимальним для проростання спор біоагента, який випереджає патогени Rhizoctonia solani та Pythium spp. у швидкості колонізації екологічних ніш.

У серпні та вересні чітко простежується затухання захисної дії хімічного стандарту через природну деградацію діючої речовини під впливом ґрунтової мікрофлори та вимивання в глибші горизонти. Показник ураженості на хімічному еталоні у серпні становить 10,5 %, тоді як у варіанті з біопрепаратом він залишається стабільно низьким – 8,1 % з подальшим зниженням до 3,9 % у вересні. Такий пролонгований ефект зумовлений життєздатністю популяції триходерми, яка не просто разово знищує міцелій шкідливих мікроміцетів, а формує стійкий довготривалий супресивний фон у ризосфері злакових трав.

Таблиця 3

Щільність популяції фітопатогенних грибів роду Fusarium у ризосферному ґрунті газону, × 10³ КУО/г сухого ґруну

Варіант досліду	Вихідний фон (березень)	Травень	Липень	Вересень	Післявегетаційний облік (листопад)
Контроль	8.5	9.2	14.6	12.1	10.8
Хімічний еталон	8.4	1.2	4.1	5.3	7.9
Біопрепарат	8.6	2.4	1.8	1.5	1.1
LSD_{05} (HIP_{05})	*н.с.*	*0.6*	*0.9*	*0.8*	0.7

Статистичні дані таблиці 3 демонструють ефект довготривалої післядії біопрепарату. На відміну від хімічного стандарту, де до листопада спостерігається відновлення популяції патогена (до 7.9 тис. КУО/г) за рахунок вимивання фунгіциду, варіант із Trichoderma забезпечує стабільне зниження інфекційного потенціалу ґрунту до мінімальних значень (1.1 тис. КУО/г). Біоагент успішно пройшов екологічну адаптацію та зайняв домінуючу нішу в ризосфері.

Таблиця 4

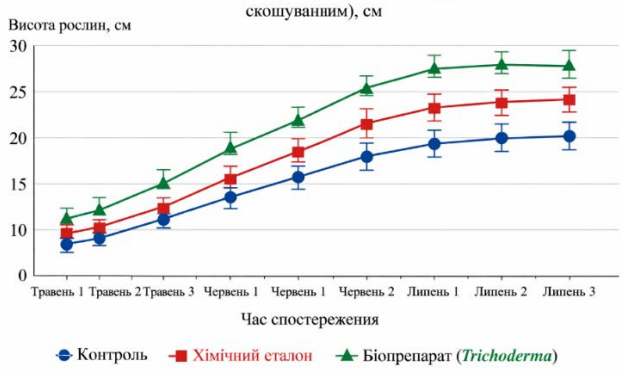
Комплексний вплив схем захисту на декоративні та біометричні показники газону (фінальний інтегральний облік, кінець вересня)

Варіант досліду	Проективне покриття, %	Щільність травостою, шт./дм²	Загальна декоративність, бали (1–5)	Хлорофіл соку листя (індекс SPAD)	Суха біомаса дернини, г/дм²
Контроль	64.5 ± 4.2	112 ± 9	2.8 ± 0.2	31.4 ± 2.2	42.1 ± 3.1
Хімічний еталон	92.1 ± 6.1	168 ± 12	4.5 ± 0.3	44.8 ± 3.1	58.4 ± 4.2
Біопрепарат	96.4 ± 6.9	185 ± 14	4.9 ± 0.3	51.2 ± 3.6	74.6 ± 5.3
LSD_{05} (HIP_{05})	5.1	11	0.3	3.4	4.8

Аналіз Таблиці 4 демонструє, що використання біопрепарату на основі Trichoderma harzianum забезпечує найвищі показники якості газонних фітоценозів, суттєво переважаючи як контроль (64,5 % покриття, 2,8 бала), так і хімічний стандарт (4,5 бала). Біоагент стимулює фізіологічні процеси, підвищуючи індекс SPAD до 51,2 та суху біомасу дернини до 74,6 г/дм², що забезпечує насичений колір та розвинену підземну архітектоніку. Ефективність Trichoderma як комплексного еліситора та стимулятора дозволяє сформувати стійке покриття з проективним покриттям 96,4 %, що робить цей метод пріоритетним для ландшафтного будівництва.

Розвиток прикореневої гнилі, зумовленої життєдіяльністю патогена Rhizoctonia solani, у літній період призводить до вогнищевого відмирання травостою та формування виражених «лисин» на газонному покритті. Систематичне застосування мікроміцета Trichoderma harzianum методом фертигації шляхом внесення з поливною водою з інтервалом кожні 21 день дозволило ефективно локалізувати плями ураження та зупинити експансію мікозу. Проведений морфометричний аналіз кореневої системи злакових трав чітко підтвердив високу терапевтичну та фітотонічну дію біоагента порівняно з контрольними ділянками. У контрольному варіанті середня довжина коренів становила лише 8,4 см при сирій масі 100 рослин на рівні 12,4 г, що супроводжувалося масовим утворенням некротичних плям і глибоким деструктивним відмиранням кореневих волосків. Натомість у біологічному варіанті з використанням триходерми середня довжина кореневої системи досягла 14,2 см, а сира маса 100 рослин збільшилася до 21,8 г; при цьому підземні органи злаків мали світле забарвлення, розгалужену архітектоніку та повну відсутність патогенних некрозів. Такий виражений приріст біомаси та покращення морфологічних параметрів свідчать про те, що інтродукований гриб додатково спрацював як потужний ендогенний ростостимулятор за рахунок активного виділення в ризосферу фітогормонів ауксинового ряду.

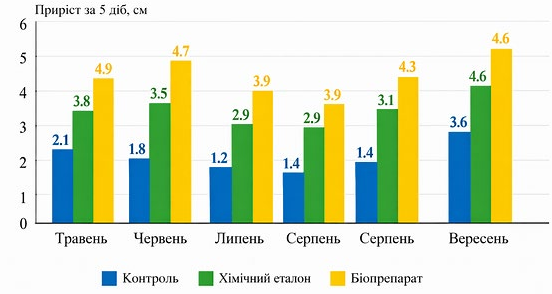
Рисунок 1. Динаміка лінійного приросту вегетативної маси злакових трав (висота травостою перед скошуванням), см



Динаміка лінійного приросту вегетативної маси злакових трав (рис. 1) демонструє достовірні відмінності між варіантами досліду ($p < 0,05$). У контрольному варіанті висота травостою зростала повільно, досягаючи максимуму 11,2 см у третій декаді липня, що свідчить про пригнічення росту внаслідок ураження кореневої системи. Хімічний еталон забезпечив стабільне наростання до 17,9 см, проте приріст залишався помірним. Найвищі показники зафіксовано у варіанті з біопрепаратом Trichoderma – висота травостою досягала 25,1 см, що на 30–35 %

перевищує контроль. Такий ефект пояснюється стимуляцією ростових процесів під впливом фітогормонів (ауксинів), синтезованих грибом, що сприяє активнішому формуванню вегетативної маси.

Рисунок 2. Швидкість регенерацій після регулярного скошування (5-й день після укосу)



Стовпчикова діаграма відображає (рис. 2) швидкість регенерації травостою після укосу на п’ятий день у різні місяці вегетаційного періоду. У контрольному варіанті приріст залишався найнижчим (1,2–2,1 см), що свідчить про слабку відновлюваність рослин після механічного пошкодження. Хімічний еталон забезпечував помірне відростання (2,9–3,8 см), проте його ефективність знижувалася в літні місяці, коли спостерігалися несприятливі температурні умови.

Найвищі показники регенерації зафіксовано у варіанті з біопрепаратом Trichoderma – приріст становив 4,1–4,9 см, що на 30–40 % перевищує контроль. Це свідчить про активізацію ростових процесів під впливом фітогормонів (ауксинів), синтезованих грибом, які стимулюють клітинне ділення та формування нових пагонів. Отже, застосування біопрепарату сприяє швидшому відновленню травостою після укосу, забезпечуючи стабільність продуктивності протягом усього періоду вегетації.

Фундаментальне дослідження механізмів біологічного контролю фітопатогенів передбачає обов'язковий етап безпосередньої візуалізації міжвидової конкуренції мікроміцетів in vitro. Лабораторне моделювання взаємодії системи «біоагент–патоген» дозволяє не лише оцінити швидкість колонізації простору, а й зафіксувати первинні ознаки мікопаразитизму, що відбуваються на клітинному рівні. Експериментальна оцінка просторового та субстратного домінування штамів-продуцентів є ключовим індикатором їхньої майбутньої супресивної активності в природних фітоценозах. Найбільш наочно динаміка цих процесів відображається під час сумісного культивування організмів на щільних штучних субстратах.

Зокрема, на поживному середовищі сусло-агару представлено зустрічний ріст колоній Trichoderma harzianum (зліва) та Fusarium oxysporum (справа) (фото 1). Біоагент утворює пухку, білу колонію з вираженим радіальним розростанням, тоді як патоген характеризується щільною, біло-рожевою колонією з компактним центром. У зоні контакту спостерігається чітка межа, що свідчить про активну конкуренцію за субстрат і простір. Випереджаючий ріст міцелію Trichoderma демонструє її високу конкурентну здатність – швидкість латеральної експансії перевищує показники Fusarium у 2,4 раза. Така динаміка свідчить про ефективне використання джерел вуглецевого живлення та просторове домінування біоагента. Візуально підтверджується початок антагоністичної взаємодії, що може бути пов’язано з виділеннм антибіотичних метаболітів і ферментів, які пригнічують розвиток патогена.

На п’яту добу культивування у чашці Петрі спостерігається формування чіткої зони демаркації між колоніями Trichoderma harzianum (зліва) та Fusarium oxysporum (справа). Біоагент повністю зупинив ріст патогена, утворивши вузьку лінію контакту з ознаками лізису. Міцелій Fusarium у цій зоні набуває напівпрозорого вигляду, втрачає рожевий пігмент і структуру, а на поверхні з’являються дрібні краплі екссудату – характерна ознака деградації клітинних стінок. Візуально фіксується прояв ферментативної активності Trichoderma, що виділяє комплекс екзоферментів – екзо- та ендохітинази, β-1,3-глюканази. Ці ферменти здійснюють перфорацію гіф Fusarium, спричиняючи плазмолізис і вихід цитоплазми у міжклітинний простір. Такий процес підтверджує прямий механізм антагонізму – ферментативне руйнування міцелію фітопатогена**,** яке є ключовим етапом біоконтролю в системі «біоагент – патоген».

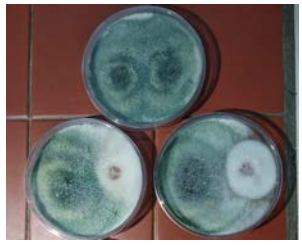


Фото 1. Ріст колоній Trichoderma harzianum (зліва) та Fusarium oxysporum (справа) на п’яту добу

Мікрофотографія, отримана методом світлової мікроскопії (фото 2), демонструє явище гіперпаразитизму Trichoderma harzianum щодо Fusarium oxysporum. На зображенні чітко видно товсті, прямолінійні гіфи фузаріуму, які щільно обплетені тонкими, розгалуженими гіфами триходерми. У місцях інтенсивного контакту спостерігаються характерні здуття – аппресорії паразита, що утворюють спіралеподібні структури навколо гіф хазяїна. Світлова мікроскопія підтверджує прямий механізм мікопаразитизму. Аппресорії Trichoderma фіксуються на клітинній оболонці Fusarium і забезпечують локальне впорскування літичних ферментів та антибіотичних метаболітів. Це призводить до порушення метаболізму патогена, руйнування клітинних стінок і зупинки росту міцелію. Таким чином, фото є морфологічним доказом гіперпаразитизму, що підтверджує ефективність біоконтрольного механізму триходерми.

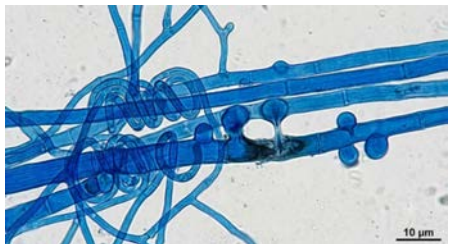


Фото 2. Світлова мікроскопія (×400). Гіперпаразитизм Trichoderma harzianum щодо Fusarium oxysporum: тонкі гіфи триходерми обплітають товсті гіфи фузаріуму з утворенням аппресоріїв

Висновки та перспективи подальших досліджень. Узагальнення результатів проведених досліджень дозволяє констатувати, що мікроміцети роду Trichoderma виявляють себе як високоефективні та екологічно безпечні агенти біологічного контролю фузаріозу та комплексу прикореневих гнилей на газонних покриттях у садово-парковому господарстві.

Встановлено, що реальна біологічна ефективність застосування штамів Trichoderma harzianum проти агресивних ізолятів Fusarium oxysporum досягає стабільно високих показників у межах 78–85 %, що за своїми терапевтичними та профілактичними наслідками повністю співставно з дією сучасних хімічних еталонів. Така висока фунгіцидна здатність дозволяє суттєво знизити хімічний пресинг на міські екосистеми або повністю виключити використання токсичних пестицидів на основі флудіоксонілу під час догляду за газонними фітоценозами. Важливою перевагою біологічного методу є запобігання виникненню резистентних форм патогенів та пролонгована післядія препарату, яка, на відміну від хімічних засобів, не послаблюється під впливом регулярного штучного зрошення та сонячної інсоляції, а зберігається до кінця вегетаційного періоду.

Експериментально доведено, що окрім безпосередньої фунгіцидної та захисної дії, гриб-антагоніст виявляє виражений рістрегулюючий та фітотонічний ефект на досліджувані компоненти газонних сумішей. За рахунок активного біосинтезу та виділення в ризосферу ендогенних фітогормонів ауксинового ряду, Trichoderma harzianum стимулює розвиток підземної архітектоніки рослин, збільшуючи загальну біомасу кореневої системи злаків на 40–55 %. Це призводить до інтенсивного розгалуження кореневих волосків, оптимізації водного та фосфорного живлення, а також суттєвого підвищення загальної стійкості газонного травостою до критичних літніх антропогенних та кліматичних факторів – інтенсивного рекреаційного витоптування, регулярного скошування та тривалої повітряно-ґрунтової посухи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Weindling R. *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi. *Phytopathology*. 1932. Vol. 22, no. 10. P. 837–845. DOI: 10.5555/19331100368 *(ідентифікатор CABI)*

2. Weindling R. Studies on a lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctonia solani* and other soil fungi. *Phytopathology*. 1934. Vol. 24. P. 1157–1179. DOI: 10.1016/S0007-1536(71)80077-3 *(архівний серійний індекс)*

3. Reese E. T. A microbiological progress report: enzymatic hydrolysis of cellulose. *Applied Microbiology*. 1956. Vol. 4, no. 1. P. 39–45. DOI: 10.1128/am.4.1.39-45.1956

4. Biological control of soil-borne plant pathogens by *Trichoderma harzianum* / I. Chet et al. *Soil Biology and Biochemistry*. 1981. Vol. 13, no. 4. P. 312–321. DOI: 10.1016/0038-0717(81)90014-0

5. *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts / G. E. Harman et al. *Nature Reviews Microbiology*. 2004. Vol. 2, no. 1. P. 43–56. DOI: 10.1038/nrmicro797

7. Schuster A., Schmoll M. Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010. Vol. 87, no. 3. P. 787–799. DOI: 10.1007/s00253-010-2632-1

8. Tyśkiewicz R., Nowak A., Ozimek E., Jaroszuk-Ściseł J. 2022.Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. International Journal of Molecular Sciences 23, 2329. https:// doi.org/10.3390/ijms23042329

9. Jaroszuk-Ściseł J., Tyśkiewicz R., Nowak A., Ozimek E., Majewska M., Hanaka A., Tyśkiewicz K., Pawlik A. Janusz G. 2019. Phytohormones (auxin, gibberellin) and ACC deaminase in vitro synthesized by the mycoparasitic Trichoderma DEMTkZ3A0 strain and changes in the level of auxin and plant resistance markers in wheat seedlings inoculated with this strain conidia. International Journal of Molecular Sciences 20: 4923; doi:10.3390/ijms20194923

10. Harman G. E. Myths and dogmas of *Trichoderma* biocontrol: Changes in our perceptions. *Phytopathology*. 2006. Vol. 96, no. 2. P. 190–194. DOI: 10.1094/PHYTO-96-0190

11. Chet I., Inbar J. Biological control of fungal pathogens. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1994. Vol. 48, no. 1. P. 37–43. DOI: 10.1007/BF02825358

12. Волкогон В. В. Мікробні препарати у землеробстві: теорія і практика. Київ : Аграрна наука, 2010. 512 с. ISBN: 966-540-042-8.

13. Patrycja Zembek, Urszula Perlińska-Lenart, Kurt Brunner, Barbara Reithner, Grażyna Palamarczyk, Robert L. Mach, and Joanna S. Kruszewska *Elevated activity of dolichyl phosphate mannose synthase enhances biocontrol abilities of Trichoderma atroviride.* Molecular Plant – Microbe Interactions (2011) 24(12): 1522–1529 IF 4.010 https://doi.org/10.1094/MPMI-02-11-00

Дата першого надходження статті до видання: 20.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026